

THESIS

1967

HANNS-HENNING BEYER

Vergleichende Haemodynamische
und Elektrokardiographische
Untersuchungen
bei Überlastung
beider Herzkammern

LANE MEDICAL LIBRARY
STANFORD UNIVERSITY
300 PASTEUR DRIVE
PALO ALTO, CALIF. 94304

München 1967

Aus der Kinderklinik der Universität München

Direktor: Prof. Dr. K.BETKE

VERGLEICHENDE HAEMODYNAMISCHE UND ELEKTRO-
KARDIOGRAPHISCHE UNTERSUCHUNGEN BEI
ÜBERLASTUNG BEIDER HERZKAMMERN

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
verfaßt und einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Hans-Henning Beyer

aus

München

1967



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät München

Berichterstatter: Priv.Doiz.Dr.K.BÜHLMAYER

Mitberichterstatter: Prof.Dr.K.BETKE

Dekan: Prof.Dr.F.HOLLE

Tag der mündlichen Prüfung: 10.Oktober 1967

Inhaltsverzeichnis

A. Einleitung	Seite 1
B. Allgemeiner Teil	2
Klinik, Hämodynamik und EKG des Ventrikelseptumdefektes	2
1) Der kleine VSD	2
2) Der mittelgroße VSD	3
3) Der große VSD mit Links-Rechts-Shunt	4
4) Der große VSD mit Überwiegendem Rechts-Links-Shunt	6
5) Der Eisenmenger-Komplex	8
6) Möglichkeiten der operativen Therapie	9
C. Elektrokardiogramm bei verschiedenen Hypertrophieformen	
1. Die Linkshypertrophie	11
2. Die Rechtshypertrophie	16
3. Die Doppelhypertrophie	29
4. Problemstellung	22
D. Spezieller Teil	
1. Methodik	23
2. Messung der Drucke	24
3. Errechnung der Korrelation	26
Beispiele	29
E. Resümee	41
F. Zusammenfassung	44

Lebenslauf

Literaturverzeichnis

VERGLEICHENDE HÄMODYNAMISCHE UND ELEKTROKARDIOGRAPHISCHE UNTERSUCHUNGEN BEI ÜBERLASTUNG BEIDER HERZKAMMERN

A. Einleitung

Das Elektrokardiogramm ist ein Spiegel der Hämodynamik des Herzens. Dies ist für isolierte Herzhypertrophie, besonders für die isolierte Rechtshypertrophie, aber auch für die Linkshypertrophie durch Untersuchungen zahlreicher Autoren (SCHMIDT, J., GÜTHEIL, H.) bewiesen. Für die Beurteilung des Ventrikelseptumdefektes in Bezug auf Operationsindikation und Stadium der Erkrankung wäre es von Hilfe, wenn sich durch das EKG auch in diesem Falle, wo eine Doppelhypertrophie zu erwarten ist, eine Aussage machen ließe.

Wir haben uns deshalb im Rahmen dieser Arbeit die Aufgabe gestellt, die elektrokardiographischen und hämodynamischen Zusammenhänge bei der Überlastung beider Herzkammern am Beispiel des VSD zu untersuchen.

Dazu ist es nötig, einen kurzen Einblick in die Klinik, Hämodynamik und das EKG des Ventrikelseptumdefektes zu geben.

B. ALLGEMEINER TEIL

Klinik, Hämodynamik und EKG des Ventrikelseptumdefektes.

Die Klinik des Ventrikelseptumdefektes ist nicht einheitlich, sondern in der Hauptsache von 2 Faktoren abhängig:

1. von der Größe des Defektes und 2. von dem Widerstand im Lungenkreislauf.

Dies betonen auch die meisten Autoren (SCHMIDT, STOERMER, BÜHLMAYER), die vorschlagen, den VSD in 4 Gruppen einzuteilen:

1. der kleine VSD
2. der mittelgroße VSD
3. der große VSD mit Links-Rechts-Shunt
4. der große VSD mit Überwiegendem Rechts-Links-Shunt.

1) Der kleine VSD:

Beim kleinen Ventrikelseptumdefekt fließt zwar Blut aus der linken in die rechte Kammer und gelangt von dort über den kleinen Kreislauf wieder zurück in den linken Ventrikel, doch bleibt die Blutmenge in der rechten Kammer gering. Dies ist eine der Ursachen, daß beim kleinen VSD der Druck im Lungenkreislauf noch völlig normal ist. Bei der Herzsondierung findet sich höchstens ein kleiner Sauerstoffsprung vom rechten Vorhof zum rechten Ventrikel, aus dem sich ein Links-Rechts-Shunt von 30 % errechnen läßt (BÜHLMAYER).

Analog dazu haben die meisten Patienten eine stumme Anamnese. Entsprechend diesen Befunden zeigt das EKG des klei-

nen VSD keine pathologischen Veränderungen. Auch das Röntgenbild ist, was Form und Größe anbelangt, völlig normal. Bei der Auskultation stellt man für den kleinen VSD im 3. I.C.R. links parasternal ein lautes systolisches Presstrahlgeräusch fest.

2) Der mittelgroße VSD:

Das Volumen der Blutmenge, das von der linken in die rechte Herzkammer fließt, ist beim mittelgroßen VSD wesentlich größer als beim kleinen VSD. Durch dieses veränderte Volumen kommt es zu einer Hypertrophie der linken Kammer (sog. Volumenhypertrophie). Da nicht nur die beiden Kammern die Blutfülle zu bewältigen haben, sondern auch die Lungengefäße, findet man beim mittelgroßen VSD in der art. Pulmonalis eine Druckerhöhung, die in erster Linie durch das große Volumen des Blutes bedingt ist, doch müssen in diesen Fällen schon ursächlich andere Faktoren, so z.B. eine Vasokonstriktion der Lungengefäße mitbeteiligt sein.

Bei der Herzsondierung ergibt sich ein hämodynamisch wirksamer Links-Rechts-Shunt von 50 %.

Anamnestisch ist bei den Patienten dieser Gruppe eine Neigung zu Bronchitiden, Palpitationen und Belastungsdyspnoe zu bemerken.

Die oben genannten Veränderungen treten im EKG folgendermaßen in Erscheinung: Man findet in den linkspräkordialen Ableitungen, als Zeichen der Volumenbelastung und der damit aufgetretenen Volumenhypertrophie des linken Ventrikels, tiefe Q- und hohe R-Zacken, bei positiver T-Zacke. Außerdem läßt sich das EKG des mittelgroßen VSD zumeist dem Linkstyp zuordnen.

Das Röntgenbild zeigt eine Vergrößerung des Herzens nach links, eine vergrößerte ¹art. Pulmonalis und eine vermehrte Lungendurchblutung. Auskultatorisch ergibt sich derselbe Befund wie beim kleinen VSD: Im 3. I.C.R. links ein systolisches Geräusch.

3) Der große VSD mit Links-Rechts-Shunt:

Für den großen VSD mit Links-Rechts-Shunt gilt in der Hauptsache dasselbe, wie für den mittelgroßen VSD; nur ist bei ersterem die Symptomatologie wesentlich ausgeprägter.

So ist beim großen VSD die Blutmenge, die durch den Defekt zwischen beiden Kammern fließt, extrem groß. Bei der Herzsondierung ergibt sich das Vorhandensein eines sehr großen Links-Rechts-Shunts, der dafür verantwortlich ist, daß sich das Minutenvolumen um mehr als das Zweifache erhöht. Es muß an dieser Stelle betont werden, daß das Lungengefäßsystem außerordentlich dehnbar ist und eine enorme Blutmenge aufnehmen kann. Trotzdem kommt es beim großen VSD zu einer weiteren Drucksteigerung im Lungenkreislauf. Die Ursache dieser Druckerhöhung ist sicher nicht der große Shunt allein; vielmehr ist eine primäre Erhöhung des Lungengefäßwiderstandes infolge einer Vasokonstriktion von größerer Bedeutung. In der Folge kommt es auch zu morphologischen Veränderungen der Lungengefäße. So glauben mehrere Autoren, z.B. EDWARDS, daß der intravasale Druck für die einsetzende Mediahypertrophie verantwortlich ist. Diese Meinung wird allerdings von anderer Seite bestritten (WELCH and KINNEY).

Wir wollen in unserer Arbeit diesem interessanten Problem nicht weiter nachgehen, da wir speziell Zusammenhänge des EKG's mit verschiedenen Hypertrophieformen klären wollen.

Für unsere Betrachtung ist wichtig, daß es beim großen VSD zu einer Druckerhöhung der art. Pulmonalis gekommen ist.

Auf diesen erhöhten Druck reagiert die rechte Kammer mit einer vermehrten Druckerbeit, was zur Folge hat, daß eine beginnende Rechtshypertrophie einsetzt.

In der Anamnese der Patienten mit einem großen VSD und pulmonaler Hypertension kann sich neben Untergewichtigkeit und Unterentwicklung schon früh eine Belastungszyanose zeigen (z.B. beim Schreien).

Im EKG kommt die Hypertrophie der linken Kammer und die beginnende Hypertrophie der rechten wie folgt zum Ausdruck:

Es finden sich Zeichen der Linkshypertrophie und für die beginnende Rechtshypertrophie Zeichen der Rechtsdrehung der elektrischen Herzachse, Auftreten eines P-Pulmonale und Hinweise der Druckbelastung des rechten Ventrikels mit Verzögerung des oberen Umschlagpunktes in V_1 und Diskordanz von R und T in den rechtspräkordialen Ableitungen (BÜHLMAYER). Im Röntgenbild läßt sich eine Vergrößerung des Herzens nach links hin feststellen; auffallend ist weiter die enorme Lungendurchblutung mit zahlreichen, erweiterten, orthograd getroffenen Lungengefäßen. In den Schrägaufnahmen zeigt sich schließlich die Hypertrophie des rechten Ventrikels.

Bei der Auskultation hört man ein leises systolisches Geräusch, das oft nicht mehr die ganze Systole ausfüllt und eine starke Betonung des 2. Herztones. Als Ausdruck einer relativen pulmonalen Insuffizienz kann es zu einem weichen frühdiastolischen Decrescendogeräusch im 2. I.C.R. kommen (GRAHAM-STEELL Geräusch).

Während bisher der kleine, mittelgroße und der große VSD mit Links-Rechts-Shunt betrachtet wurden, bleibt jetzt ein sehr wichtiger Fall zu besprechen:

4) Der große VSD mit Überwiegendem Rechts-Links-Shunt:

Hämodynamisch ist der große VSD mit Überwiegendem Rechts-Links-Shunt durch folgende Kriterien gekennzeichnet:

Der Gefäßwiderstand ist auf Grund der im vorigen Kapitel genannten Faktoren (Vasokonstriktion, Mediahypertrophie) weiter gestiegen. Das bedeutet, daß der Druck in der art. Pulmonalis und damit im rechten Ventrikel so groß geworden ist, daß praktisch zwischen linkem und rechtem Ventrikel Druckgleichheit herrscht. Die Lungengefäßveränderungen zeigen dabei fließende Übergänge von den funktionellen zu den morphologischen Veränderungen - bis zur ausgeprägten Pulmonalgefäßsklerose.

Für unsere Betrachtung ist wichtig, daß der rechte Ventrikel infolge des hohen Druckes in der art. Pulmonalis vermehrte Druckarbeit leisten muß, so daß er eine starke Hypertrophie erfährt. Aus diesem Grunde erreicht der rechte Ventrikel in diesem Stadium die Muskeldicke der linken Kammer. (Doppelhypertrophie des Herzens).

Sind die Widerstände in beiden Gefäßsystemen gleich groß, ist der Shunt minimal; er kann bidirektional sein (ge-

kreuzter Shunt), er ist aber immer balanziert, d.h. der Rechts-Links-Shunt ist genauso groß, wie der Links-Rechts-Shunt. Überwiegt der Lungengefäßwiderstand gegenüber dem Großkreislaufwiderstand, kommt es zum Überwiegen des Rechts-Links-Shunts, bzw. zum reinen Rechts-Links-Shunt (EISENMENGER-Reaktion). Anamnestisch ist bedeutsam, daß die Patienten den Arzt oft erst im Schulalter aufsuchen und zwar dann, wenn es allmählich zu einer Zyanose gekommen ist. Bei vollentwickelter Zyanose findet man neben gehäuf-ten Bronchitiden, charakteristische Veränderungen wie Uhrglasnägel und Trommelschlegelfinger. An physikalischen Zeichen zeigt sich ein kleiner oder normaler Puls mit kleiner Amplitude und niedrigem Blutdruck. (WOOD, P.).

Das EKG läßt sich dem Rechtstyp zuordnen, neben den Merkmalen der Linkshypertrophie weist es die der Rechtshypertrophie auf (hohe R-Zacken in den rechts-praekordialen Ableitungen und ein P-Pulmonale). Im Röntgenbild imponiert eine mächtig vorspringende Pulmonalis mit weiten Hilusgefäßen. Pulmonalis und Hilusgefäße zeigen den sogenannten Hilustanz, während die Peripherie ruhig und starr erscheint (BODECHTEL und BLOEMER).

Zur Auskultation ist zu sagen, daß beim großen VSD mit Überwiegendem Rechts-Links-Shunt ein lauter 2. Herzton besteht und das systolische Geräusch kürzer wird. Zum Schluß unserer Betrachtungen über den großen VSD mit EISENMENGER-Reaktion muß noch über eine hämodynamisch ähnlich geartete Erkrankung gesprochen werden, nämlich den EISENMENGER-Komplex.

5) Der EISENMENGER-Komplex:

Die Anatomie des E.-Komplexes ist durch folgendes Bild gekennzeichnet:

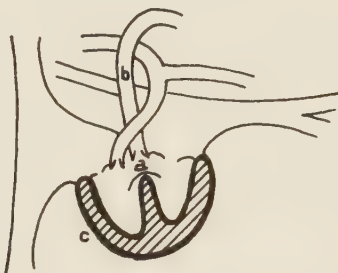


Abb. 1: Anatomie des EISENMENGER-Komplexes
a) hoher Kammerseptumdefekt und gekreuzter Shunt; b) überreitende Aorta; c) Hypertrophie des rechten Ventrikels.

Für den EISENMENGER-Komplex gelten dieselben hämodynamischen Verhältnisse wie für den großen VSD mit Überwiegendem Rechts-Links-Shunt:

1. großer Gefäßwiderstand im Lungenkreislauf
2. hoher Druck in der art. Pulmonalis
3. vermehrte Druckarbeit des rechten Ventrikels
4. Überwiegender Rechts-Links-Shunt durch den hohen Kammerseptumdefekt.

Anamnese, Röntgenbild, EKG und Auskultationsbefund des EISENMENGER-Komplexes entsprechen denen des großen VSD mit Überwiegendem Rechts-Links-Shunt. Die Differentialdiagnose zwischen beiden Erkrankungen ist schwierig. So hat die überreitende Aorta beim EISENMENGER-Komplex keine differentialdiagnostische Bedeutung, da es auch

beim VSD infolge der Drucksteigerung im rechten Ventrikel und einhergehender Septumdeviation nach links zum Überreiten der Aorta kommen kann (BROWN, J. und Mitarbeiter).

Als wichtigstes Kriterium gegenüber dem großen VSD ist allerdings bedeutsam, daß beim echten EISENMENGER-Komplex die Veränderungen an den Lungenarteriolen (Medi hypertrophie, usw.) von Geburt an bestehen (CIVIN, W., EDWARDS, J., DAMMAN, J., und FERENCZ, Ch.).

Die Tatsache der pathologisch veränderten Lungenarteriolen ist entscheidend für die Frage nach der Therapie.

6) Möglichkeiten der operativen Therapie:

Der kleine und mittelgroße VSD werden heute operativ verschlossen und haben somit eine gute Prognose. Auch beim großen VSD mit Links-Rechts-Shunt wird mit Erfolg operiert.

Beim großen VSD mit Überwiegendem Rechts-Links-Shunt und beim eigentlichen EISENMENGER-Komplex kommt eine operative Therapie nicht in Betracht, da in diesen Fällen der Fehler in der Peripherie, nämlich in den Lungenarteriolen liegt.

Verschiedene Autoren äußern sich in diesem Sinn (SZABO, R. und Mitarbeiter). BROM, A. betrachtet die Operation von DAMMAN-MÜLLER etwas optimistischer, die durch Anlegen einer Stenose Schutz für die Lungenarteriolen gegen den Überdruck des rechten Ventrikels bezwecken soll. Diese Operation ist jedoch noch ein Experiment, dessen Ergebnis es abzuwarten gilt.

Aus dem oben Gesagten geht deutlich hervor, daß zur Indi-

kation für eine Operation entscheidend ist, in welchem Stadium ein Kammerseptumdefekt sich befindet.

Da wir uns zur Aufgabe gemacht haben, mit Hilfe des EKG's diese Stadien zu überprüfen, wird es Thema folgenden Kapitels sein, die verschiedenen Hypertrophieformen an Hand des EKG's aufzuzeigen.

C. ELEKTROKARDIOGRAMM bei verschiedenen HYPERTROPHIEFORMEN

1. Die Linkshypertrophie:

Für das Vorliegen einer Linkshypertrophie spricht zunächst die typische Formveränderung gegenüber der Norm (Abb. 2). HECK, W. und STOERMER, J. haben 8 Punkte aufgeführt, die auf eine Linkshypertrophie hinweisen:

- 1) Vergrößerung der Summe von R in V_5 bzw. V_6 und S in V_2 über die angegebenen Maximalwerte (nach FLEISCH 4 mV; Abb. 3),
- 2) ausgeprägte Linkstypen mit pathologischen Werten für die Differenz zwischen größter QRS-Achse und T-Achse über $+60^\circ$, bzw. Überdrehte Linkstypen,
- 3) Verspätung des oberen Umschlagpunktes in Ableitungen über dem linken Herzen,
- 4) fehlende S-Zacken in V_6 bzw. V_5 ; fehlende R-Zacken in V_1 bzw. V_2 ,
- 5) abgeflachte T-Zacken und diskrete ST-Steigungen bei hohen R- bzw. S-Zacken in den Brustwandableitungen,
- 6) ST-Senkungen mit negativen T-Wellen bei für Linkshypertrophie sprechenden Veränderungen,
- 7) Linksschenkelblock,
- 8) indirekt: linksaurikuläre Reizleitungsstörung bei pathologischen Linkstypen mit intraventrikulärer Reizausbreitungsstörung.



Abb. 2: Schematische Darstellung der Formveränderung bei Linkshypertrophie. Der Normalbefund ist gestrichelt.

Frühgeborene		1.+2. Lebens- monat		3.-5. Lebens- monat		6.-12. Lebens- monat	
Maximal- wert	Mittel- wert	Maximal- wert	Mittel- wert	Maximal- wert	Mittel- wert	Maximal- wert	Mittel- wert
3,73	2,60	3,99	2,02	4,34	2,52	3,89	2,55

2.-3. Lebensjahr		4.-6. Lebensjahr		7.-10. Lebensjahr		11.-15. Lebensjahr	
Maximal- wert	Mittel- wert	Maximal- wert	Mittel- wert	Maximal- wert	Mittel- wert	Maximal- wert	Mittel- wert
4,96	2,58	5,24	2,81	5,56	3,38	4,86	1,48

Abb. 3: Summe der größten R-Zacke über dem rechten Herzen (V_2) (Maximal- und Mittelwert).

Weiter ist es zweckmäßig, jede Hypertrophie noch in einzelne Grade einzuteilen. Bei der Linkshypertrophie wäre der erste Grad, wenn die R-Zacken linkspräkordial eine hohe Voltspannung zeigen; der zweite Grad, wenn neben der Vergrößerung von R auch eine Abflachung von T zu erkennen wäre; der dritte Grad, wenn die hohe Voltspannung von R mit einer negativen T-Zacke in der Ableitung V_6 einherginge und schließlich der vierte Grad, wenn die hohen R-Zacken von den linkspräkordialen Ableitungen bis zur mittleren Brustwand von tief negativen T-Zacken begleitet würden (SCHMIDT, J.). In Abbildung 4 ist der typische EKG-Befund bei einer Linkshypertrophie dargestellt.

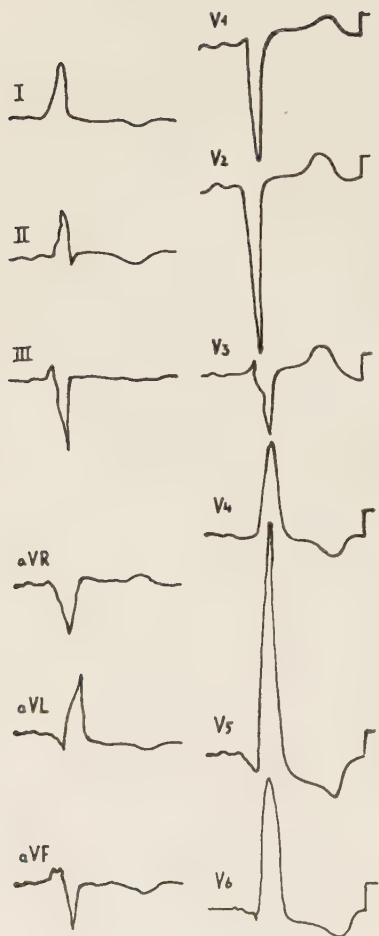


Abb. 4:

Linkspräkordiale Amplitudenvergrößerung mit Linksverspätung und ausgeprägter Störung des Erregungsrückganges linkspräkordial. Sinusrhythmus.

Linkspositionstyp; obere U.P.

In I bei 0,07 sec QRS 0,12 sec.

In I und II leichte ST-Senkung T flach negativ. In aVL oUP bei 0,07 sec. ST leicht gesenkt.

T-Wellen flach negativ. Brustwandableitungen: S in V_2 2,8 mV tief, R in V_5 4,8 mV hoch (Sokolow-Index 7,6), oUP in V_5 und V_6 bei 0,07 sec. ST-Strecke in V_5 bis V_6 deutlich gesenkt mit Übergang in tief negative T-Wellen.

Nebenbefund: angedeutetes P sinistrokardiale.

Klinisch: Linkshypertrophie bei Aortenvitium.

Nun kann man das Elektrokardiogramm auch noch nach einem anderen Gesichtspunkt betrachten; wenn man sich nämlich überlegt, wie sich die Größe der R-Zacke zu der Größe der S-Zacke verhält. Über diese Beziehung gibt der Re-

lationsquotient Auskunft. Nach SCHMIDT berechnet sich der Relationsquotient für jede Ableitung nach folgender Formel:

$$\text{RELATIONSQUOTIENT} = \frac{R}{R + S}$$

Graphisch findet der R_q Verwendung, wenn man die verschiedenen Brustwandableitungen und dazu die in Prozenten ausgedrückten Relationsquotienten aufträgt. Die Verbindung dieser Punkte ergibt eine Kurve, die sogenannte Relationskurve. Man erhält jeweils eine verschiedene Relationskurve für die Links-Rechts- oder Doppelhypertrophie.

Weiter kann man aus der Kurve ersehen, wie stark die Ventrikel hypertrophiert sind.

Für die typische Linkshypertrophie hat die Kurve ungefähr folgende Form:

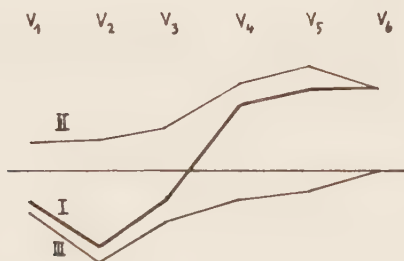


Abb. 5: In Kurve II werden nur die R-Werte, in Kurve III nur die S-Werte dargestellt. Für die Linkshypertrophie sieht die Relationskurve folgendermaßen aus: Sie beginnt in V_1 unterhalb der Nulllinie, steigt dann über dem linken Herzen an, bis sie schließlich in V_6 über der Nulllinie liegt.

2. Die Rechtshypertrophie:

Nach HECK und STOERMER sprechen wiederum 8 Hauptkriterien für das Vorliegen einer Rechtshypertrophie:

- 1) Ausgeprägte Rechtstypen, bzw. Überdrehte Rechtstypen.
- 2) Hohe, bzw. alleinige R-Zacken über dem rechten Herzen und tiefe S-Zacken über dem linken.
- 3) Verspätung des oberen Umschlagpunktes der R-Zacke in Ableitung über dem rechten Herzen, Verkürzung über dem linken Herzen.
- 4) Typische Veränderungen beim inkompletten Rechtsschenkelblock.
- 5) Veränderungen der Nachschwankungen: im Säuglings- und Kleinkindesalter positive T-Zacken, im späteren Alter negative T-Zacken über dem rechten Herzen.
- 6) ST-Senkungen über dem rechten Herzen in den ersten acht Lebenswochen.
- 7) Rechtsschenkelblock.
- 8) Indirekt: rechtsaurikuläre Reizleitungsstörung bei pathologischen Rechtstypen.

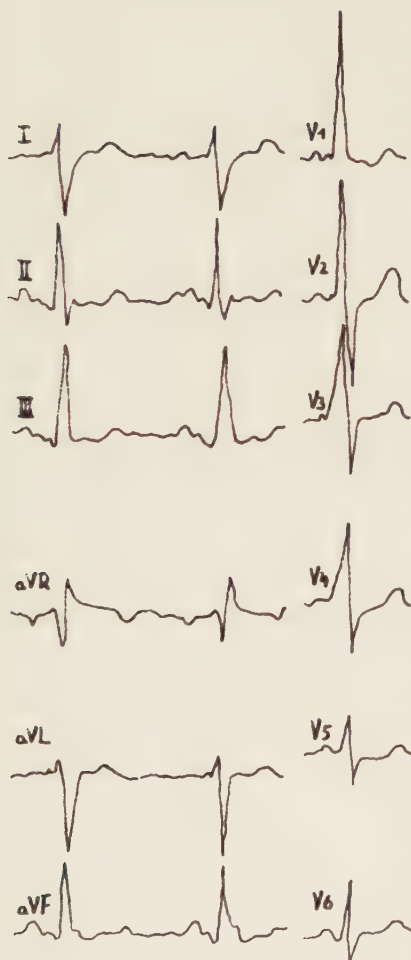


Abb. 6 zeigt die auf S.17 beschriebenen Veränderungen; Rechtspräkordiale Amplitudenvergrößerung bei Rechtshypertrophie. Sinusrhythmus. Rechtspositionstyp. R in II 1,4 mV; in III 1,6 mV.

Brustwandableitungen: in V₁ 2,8 mV hohe R-Zacke, in V₆ 0,4 mV tiefe S-Zacke (Sokolow-Lyon-Index rechts: 3,2 mV) oUP in V₁ bei 0,05 sec, in V₆ bei 0,03 sec. ST-Strecken in V₁ deutlich gesenkt, mit Übergang in präterminal tief negative T-Wellen. Außer der rechtspräkordialen Amplitudenvergrößerung, die bei dem klinischen Befund als Ausdruck einer Rechtshypertrophie gedeutet werden muß, findet sich noch eine Rechtsverspätung. Aus der einmaligen Aufnahme ist nicht zu entscheiden, ob die Störung des Erregungsrückganges primärer oder sekundärer Genese ist.

Nebenbefund: P dextrokardiale. Klinisch: Fallot'sche Tetralogie.

Schließlich zeigt die deutliche Formveränderung gegenüber der Norm bei der Rechtshypertrophie die Abbildung 7.



Abb. 7: Die gestrichelte Kurve stellt den normalen Verlauf der Kurve dar.

Betrachtet man nun wiederum bei der Rechtshypertrophie das Verhältnis von der Größe der R-Zacke zu der Größe der S-Zacke, so bekommt man bei der graphischen Darstellung folgende charakteristische Relationskurven:

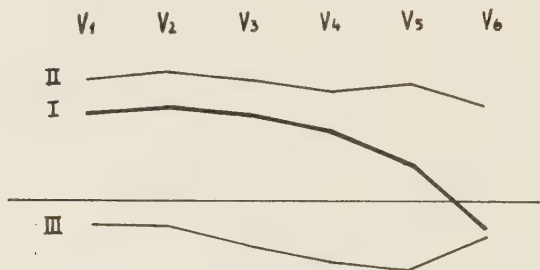


Abb. 8: Bei einer Rechtshypertrophie beginnt also die Relationskurve in V₁ oberhalb der Nulllinie und fällt in einem mehr oder weniger steilen Verlauf nach links hin ab.

Für die Kenntnis der EKG's der großen Ventrikelseptumdefekte und der EISENMENGER-Reaktion im speziellen ist es wichtig, die dritte Form der Hypertrophie, nämlich die Doppelhypertrophie, zu durchleuchten.

3. Die Doppelhypertrophie:

Für den Fall, daß im EKG die Zeichen der Links- und Rechtshypertrophie bestehen, ist die Diagnose "Doppelhypertrophie" leicht. Diesen Fall zeigt Abbildung 9. Daneben ist in Abbildung 10 der typische Kurvenverlauf gegenüber dem Normalbefund dargestellt.

Häufig sind die Zeichen der Rechtshypertrophie deutlich ausgeprägt, während die der Linkshypertrophie unsicher bleiben. In einem solchen Fall geben folgende Kriterien den Hinweis auf eine gleichzeitig bestehende Linksüberlastung (nach SCHMIDT).

- 1) In den linkspräkordialen Ableitungen: Die R/S Relation steigt an, die R-Zacken sind groß, es besteht ein unvollständiger Linksschenkelblock, in den Ableitungen V_5 und V_6 taucht eine deutliche Q-Zacke auf, die QR-Dauer ist verlängert, die ST-Strecke gesenkt und die T-Zacke ist manchmal sogar negativ.
- 2) In den rechtspräkordialen Ableitungen steigt die R/S Relation etwas an.
- 3) Die Übergangszone ist nach rechts hin verlagert.
- 4) In der Ableitung aVL erscheint, wenn auch nur andeutungsweise, ein Linkshypertrophie-EKG.
- 5) Die Zeichen der Rechtshypertrophie sind mit einem auffälligen Linkstyp verbunden. (Dies Verhalten ist besonders für eine starke Volumenüberlastung beider Kammern bezeichnend, wie es beim EISENMENGER der Fall ist.)
- 6) Auch ist die Feststellung eines P-cardiale wichtig, weil sie eine Überlastung beider Vorhöfe anzeigt (Ausnahme: die reine Mitralstenose und der Vorhofseptumdefekt).

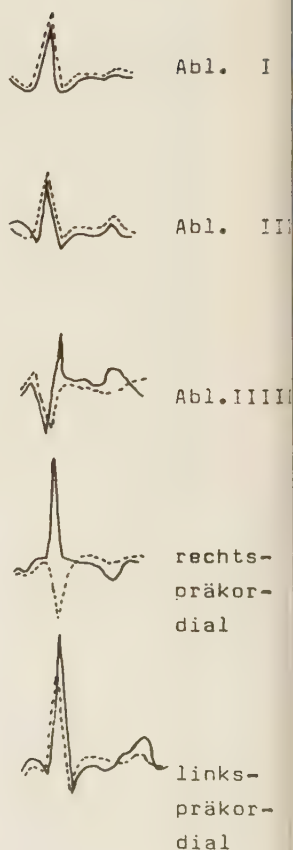
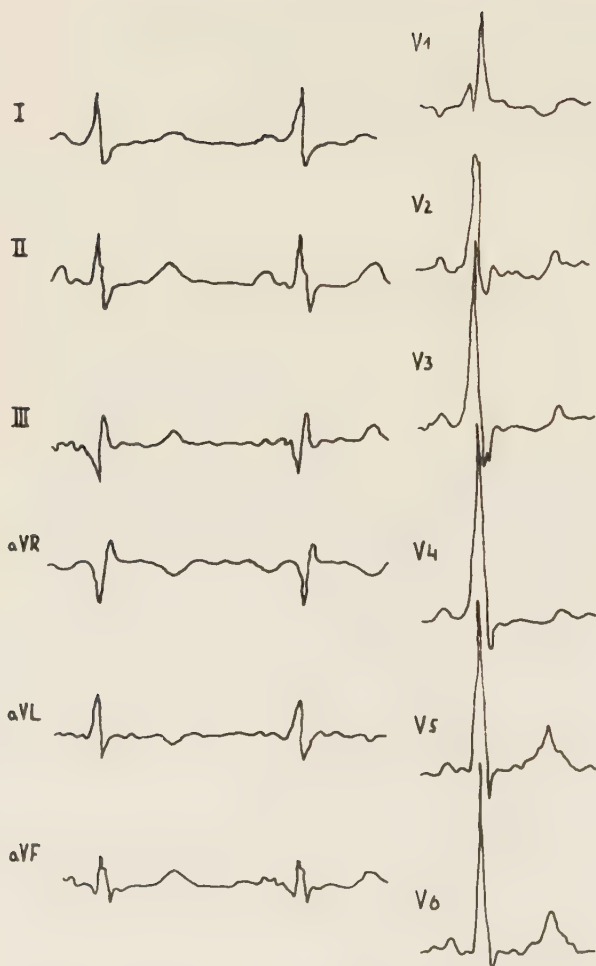


Abb. 9: Rechts- und linkspräkordiale Amplitudenvergrößerung sowie rechtsver-
spätung. Sinusrhythmus: Indifferenztyp (deutliche S-Zacken in I und Q-Zacken in III weisen auf eine zusätzliche Drehung des Herzens um seine Längsachse hin). St-Ansatz in I und II gesenkt. Brustwandableitungen: In V_1 1,7 mV hohe R-Zacke, in V_5 0,2 mV tiefe S-Zacke. oUP in V_1 0,07 sec, in V_6 bei 0,05 sec. Die rechts- präkordiale Amplitudenvergrößerung ist im vorliegenden Beispiel deutlicher als die linkspräkordiale.

Abb. 10

Leider kann es aber auch so sein, daß die soeben genannten elektrokardiographischen Zeichen nicht vorhanden sind und es besteht dennoch eine Doppelhypertrophie. Dann sprechen folgende Zeichen für das Vorliegen einer Links- und Rechtsüberlastung des Herzens: Die T-Zacke ist in den rechtspräkordialen Ableitungen negativ, in der Mitte des Präkordiums positiv und schließlich über dem linken Herzen wieder negativ. Nach LEVINE und Mitarbeiter kann man dann auf eine Überlastung beider Ventrikel schließen, wenn man eine rS-Form von QRS in den Ableitungen V_1 und V_6 findet und außerdem Zusatzableitungen nach links hin (Abl. V_7 und V_8) eine Linkshypertrophie ergeben.

Weiterhin sollte man an eine Doppelhypertrophie denken, wenn z.B. bei einem linkstypischen EKG die Übergangszone nach links, bei einem rechtstypischen EKG die Übergangszone nach rechts verlagert ist. Unter der Voraussetzung, daß überhaupt eine Überlastung des Herzens vorliegt, können auch qR-Formen und flache oder positive T-Zacken in der Ableitung aVR an eine Doppelhypertrophie denken lassen. Schließlich kommt es bei einer Doppelhypertrophie gewöhnlich zu einer starken Septumhypertrophie. Ausdruck einer Septumhypertrophie ist die erste R-Zacke in der Ableitung V_1 und die Q-Zacke in der Ableitung V_6 . Haben diese beiden Zacken, die zeitlich einander entsprechen, eine besonders hohe Amplitude, dann ist man berechtigt, allein auf Grund dieser Veränderungen eine Doppelhypertrophie anzunehmen (MARSICO und Mitarbeiter).

Versucht man wieder, die R- und S-Zacke graphisch darzustellen, so erhält man für die Doppelhypertrophie folgende Relationskurve (Abb. 11):

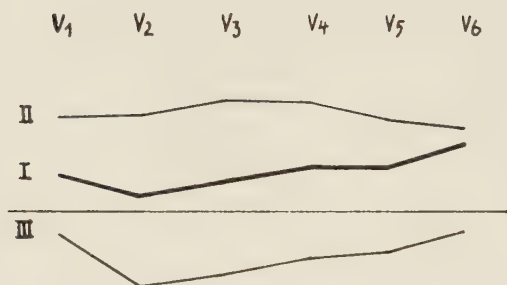


Abb. 11: Relationskurven bei Doppelhypertrophie.

I der R/R + S Werte; II Gipfelpunkte der R-Zacken; III Gipfelpunkte der S-Werte.

Die Relationskurve der Doppelhypertrophie beginnt oberhalb der Nulllinie, verläuft dann etwas muldenförmig und endet links oben.

Wir haben uns nun in den nächsten Kapiteln die Aufgabe gestellt, die Relationskurven nach dem Grad der Hypertrophie zu durchleuchten.

4) Problemstellung:

Verschiedene Autoren haben sich die Frage gestellt, ob es möglich ist, Beziehungen zwischen den Relationskurven und dem Grad der Hypertrophie zu finden. GUTHEIL hat z.B. anhand von speziellen Herzfehlern für die isolierte Kammerhypertrophie nachgewiesen, daß zwischen dem

Ventrikelquotienten (gebildet aus den syst. Druckwerten) und dem Summenquotienten (gebildet aus den Werten des EKG's) eine gute Korrelation besteht. Wir haben uns anhand dieser Arbeit am Beispiel des Ventrikelseptumdefektes die Aufgabe gestellt, zu untersuchen, ob auch bei der Doppelhypertrophie zwischen Hämodynamik und EKG eine Korrelation besteht. Um diese Frage zu klären, sind wir wie folgt vorgegangen:

D. SPEZIELLER TEIL

1. Methodik:

Wir haben, anlehnend an die Methode von SCHMIDT, modifiziert nach GUTHELL, einmal die Relationskurven quantitativ ausgewertet und zum anderen den Ventrikelquotienten bestimmt.

Unter dem Ventrikelquotienten versteht man den Quotienten, der aus dem systolischen Druck in der rechten Kammer und aus dem systolischen Druck in der linken Kammer gebildet wird:

$$Q_v = \frac{\text{syst. Druck rechts}}{\text{syst. Druck links}}$$

Dieser Ventrikelquotient gibt Aufschluß über das Muskelmassenverhältnis, d.h. über die Muskeldicke der rechten Kammer im Verhältnis zu der linken Kammer.

In Analogie dazu wird jetzt der Relationsquotient des EKG's zwischen rechts und links gebildet und in Prozenten ausgedrückt (Relationsquotient = $\frac{R}{R+S}$). Die Relations-

quotienten mit 100 multipliziert, ergeben die Prozentwerte. Sie liegen zwischen 0 und 100; die Nulllinie entspricht dem 50 %-Wert. Nachdem für das rechte Herz die Prozentwerte aus den Ableitungen V_{3r} , V_1 , V_2 und für das linke Herz die Werte der Ableitungen V_4 , V_5 , V_6 errechnet wurden, wird jetzt ein Summenquotient gebildet. Dieser berechnet sich nach folgender Formel:

$$\text{Summenquotient}(Q_s) = \frac{\text{Prozentwerte } V_{3r} + V_1 + V_2}{\text{Prozentwerte } V_4 + V_5 + V_6}$$

Nach den beiden oben angegebenen Formeln haben wir den Summenquotienten und den Ventrikelquotienten für 80 Kinder, die einen Ventrikelseptumdefekt hatten, errechnet. und haben sie nach dem rechtsventrikulären Druck in 2 Gruppen eingeteilt:

So gehören zu der ersten Gruppe 25 Fälle mit einem rechtsventrikulären Druck von 40-60 mm Hg. In die zweite Gruppe wurden die restlichen 55 Fälle mit einem Druck im rechten Ventrikel von 60 mm Hg und darüber eingeteilt. Unsere Untersuchungen erstreckten sich auf alle Jahrgänge des Kindesalters; das jüngste Kind war ein halbes Jahr, das älteste 16 Jahre alt. Das Verhältnis von Knaben zu Mädchen betrug 1 : 1.

2. Messung der Drucke:

Die Höhe der Drucke haben wir wie folgt bestimmt: In der rechten Kammer wurde er bei allen Kindern durch die venöse Katheterung ermittelt, während bei der Bestimmung des linksventrikulären Druckes gesondert vorgegangen wurde. In den Fällen, bei denen der Ventrikelseptumdefekt günstig lag, gelang es, den Katheter von der rechten in die linke Kammer zu schieben und den Druck durch die Katheterung genau zu bestimmen. Bei allen anderen Fällen

wo dies nicht möglich war, mußte er nach der Methode von RIVA-ROCCI an der art. Brachialis gemessen werden.

I. Gruppe: Ventrikelseptumdefekte mit einem rechts-ventrikulären Druck von 40-60 mm Hg.

In der Abbildung 12 sind die Druckverhältnisse (Q_v -Shunt) im Vergleich zu den elektrokardiographischen Werten (Herzachse, Q_s -Typ) dargestellt. Bei den 25 Kindern der ersten Gruppe hatten wir es nur mit einer beginnenden, leichten Hypertrophie des rechten Herzens zu tun; der Ventrikelquotient überstieg in keinem Fall den Wert von 0,7.

Für die Volumenüberlastung und Hypertrophie des linken Herzens waren im EKG deutliche Zeichen festzustellen: So fanden wir bei der Auswertung unseres EKG's in dieser Gruppe 12 Linkstypen mit ST-Senkungen und negativen T-Wellen. Weiterhin imponierte die Vergrößerung der Summe von R in V_5 bzw. V_6 und S in V_1 bzw. V_2 über die von FLEISCH angegebenen Maximalwerte (s. Abb. 3).

Für das Vorhandensein einer Volumenüberlastung rechts und beginnender Rechtshypertrophie sprachen folgende Kriterien: Hohe, bzw. alleinige R-Zacken über dem rechten und tiefe S-Zacken über dem linken Herzen. Außerdem zeigten sich deutliche Veränderungen beim inkompletten Rechtsschenkelblock und Veränderungen der Nachschwankungen.

In den Fällen, in denen die Rechtshypertrophie elektrokardiographisch eindeutig feststellbar war, nicht aber die Linkshypertrophie, konnte die Diagnose Linkshypertrophie aus folgenden Gründen doch noch gestellt werden: Es bestanden unvollständige Linksschenkelblöcke, in den Ableitungen V_5 und V_6 tauchte eine deutliche Q-Zacke

auf und die QR-Dauer war verlängert.

Was den Shunt betrifft, stellte sich heraus, daß in dieser Gruppe 16 Kinder einen Links-zu Rechts-Shunt hatten. In den restlichen Fällen war kein sicherer Shunt nachzuweisen oder es lag kein Shunt vor. In keinem Fall war es bei diesen Blutdruckverhältnissen zu einem Rechts-Links-Shunt gekommen, was ja auch auf Grund der nur mäßig erhöhten pulmonalen Drucke erklärlich ist. Der durchschnittliche Druck in der Pulmonalis lag in der Gruppe von 40-60 mm Hg bei annähernd 45 mm Hg.

3. Errechnung der Korrelation:

Als nächstes wurde jetzt die Korrelation zwischen dem Ventrikelquotienten (aus den beiden Drucken) und dem Summenquotienten (aus dem EKG) errechnet. Dazu haben wir uns der PEARSON'schen Formel bedient, welche folgendermaßen lautet:

$$r_{xy} = \frac{S(X - M_x) \text{ mal } (Y - M_y)}{n \text{ mal } \sigma_x \text{ mal } \sigma_y}$$

S = Summe, $X - M_x$ und $Y - M_y$ sind die jeweiligen Abweichungen der Q_s - und Q_v -Werte von ihren entsprechenden Mittelwerten M_x und M_y .

Der Korrelationskoeffizient r_{xy} , der sich aus dieser Formel ergibt, kann zwischen + 1 und - 1 schwanken. Der Wert + 1 sagt aus, daß die Variablen Q_s und Q_v hundertprozentig miteinander übereinstimmen. Null bedeutet, daß Q_s und Q_v in überhaupt keiner Beziehung zueinander stehen, schließlich geben die negativen Werte die Grade eines reziproken Zusammenhanges an.

syst. Druck rechts	syst. Druck links	EKG- typ	Q_v	Q_s	α	Shunt
50	100	steil	0,50	0,54	+ 60°	li.-re.
45	135	links	0,33	0,27	+ 25°	li.-re.
45	120	mittel	0,37	0,54	+ 67°	li.-re.
45	110	links	0,41	0,49	+ 25°	li.-re.
40	130	steil	0,30	0,25	+ 87°	li.-re.
55	100	links	0,55	0,65	+ 32°	Ø
45	90	links	0,50	0,61	+ 30°	Ø
45	110	steil	0,41	0,49	+ 75°	li.-re.
45	125	steil	0,36	0,46	+ 75°	Ø
40	120	links	0,33	0,38	+ 22°	li.-re.
45	100	links	0,45	0,50	+ 25°	li.-re.
45	125	links	0,36	0,44	+ 35°	li.-re.
45	95	steil	0,47	0,57	+ 84°	li.-re.
45	120	steil	0,38	0,54	+ 68°	li.-re.
55	80	links	0,69	0,75	- 28°	Ø
45	100	links	0,45	0,52	- 35°	Ø
60	110	steil	0,55	0,62	+ 95°	Ø
60	90	rechts	0,66	0,63	+130°	Ø
45	95	steil	0,47	0,54	+ 83°	li.-re.
50	100	links	0,50	0,56	+ 25°	li.-re.
40	80	steil	0,50	0,67	+ 76°	Ø
40	110	links	0,36	0,39	- 14°	li.-re.
55	120	steil	0,45	0,65	+ 85°	li.-re.
60	125	links	0,47	0,65	+ 23°	Ø
45	100	mittel	0,45	0,47	+ 60°	li.-re.

Die umseitig angegebene Formel, auf die Fälle der rechtsventrikulären Drucke von 40-60 mm Hg angewendet, ergab einen Korrelationskoeffizient von

$$r = + 0,66$$

Dieser Wert bedeutet, daß eine gute positive Korrelation zwischen dem Ventrikelquotienten und dem Summenquotienten vorhanden ist.

Graphisch kann dieser Zusammenhang durch die Regressionslinie (Abb. 13) veranschaulicht werden.

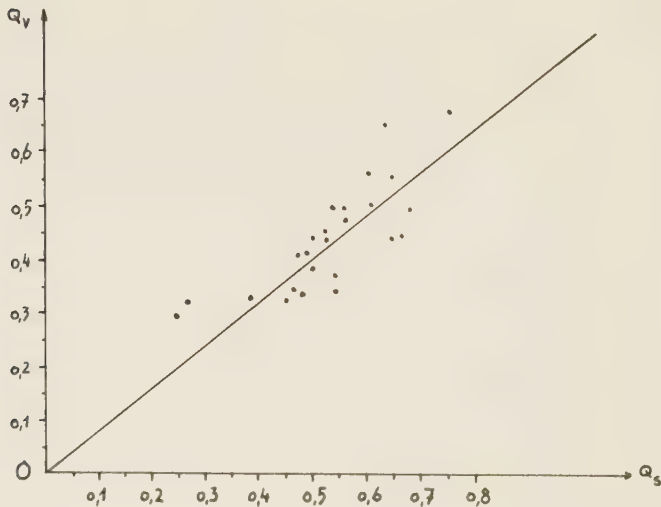


Abb. 13: Regressionslinie der rechtsventrikulären Drucke von 40-60 mm Hg.

Die Werte für Q_s werden als x auf der Abszisse, die für Q_v als y auf der Ordinate aufgetragen. Die Regressionslinie wird dadurch erhalten, indem man den Punkt, der aus den beiden arithmetischen Mittelwerten gebildet wurde, mit dem Nullpunkt verbindet. Aus der Errechnung der arithmetischen Mittelwerte ergab sich außerdem, daß Q_s annähernd 1,3 mal so groß war wie Q_v .

Beispiele:

Die beiden nachfolgenden Beispiele wurden deshalb gewählt, weil sie Repräsentationsbeispiele für die Gruppe von 40-60 mm Hg bei unseren Untersuchungen waren.

Fall I:

17 Monate altes Mädchen; bei ihr wurde im Alter von 15 Monaten ein Herzfehler diagnostiziert. Blaue Lippen seien nie aufgetreten, auch habe sie nie an Atemnot gelitten.

Bei der Herzsondierung von vena saphena aus, konnte von den beiden Hohlvenen der rechte Vorhof, der rechte Ventrikel und die arteria pulmonalis erreicht werden. Die Blutgasanalysen ergaben eine O_2 -Sättigung in der art. pulmonalis von 73%, im rechten Vorhof 66 % und im rechten Ventrikel 74 %. In letzterem wurde ausserdem ein Druck von 40 mm Hg festgestellt.

Das EKG zeigte eine Achsenabweichung von $+ 22^\circ$, die PQ-Dauer war 0,10 sec., die QRS-Dauer 0,07 sec. Es bestand eine Sinustachykardie mit einer Frequenz von 165/min. Die Höhe der R- und S-Zacken geht aus Abb.14 hervor.

Zusammenfassung: Es handelt sich um einen kleinen Ventrikelseptumdefekt, mit kleinem Links-Rechts-Shunt von 20-30 %.

	R in mV	S in mV	Q _s
V _{3r}	0,5	2,1	19 %
V ₁	0,8	3,1	21 %
V ₂	3,7	1,5	71 %
V ₄	1,9	0,2	90 %
V ₅	1,0	0	100 %
V ₆	0,9	0	100 %

Abb. 14: Höhe der R- und S-Zacken in den rechts- und linkspräkordialen Ableitungen.

Der aus den Drucken berechnete Ventrikelquotient betrug 0,33, der aus dem EKG bestimmte Summenquotient 0,38. Die dazugehörige Relationskurve weist den typischen Verlauf einer Linkshypertrophie auf (Abb. 15).

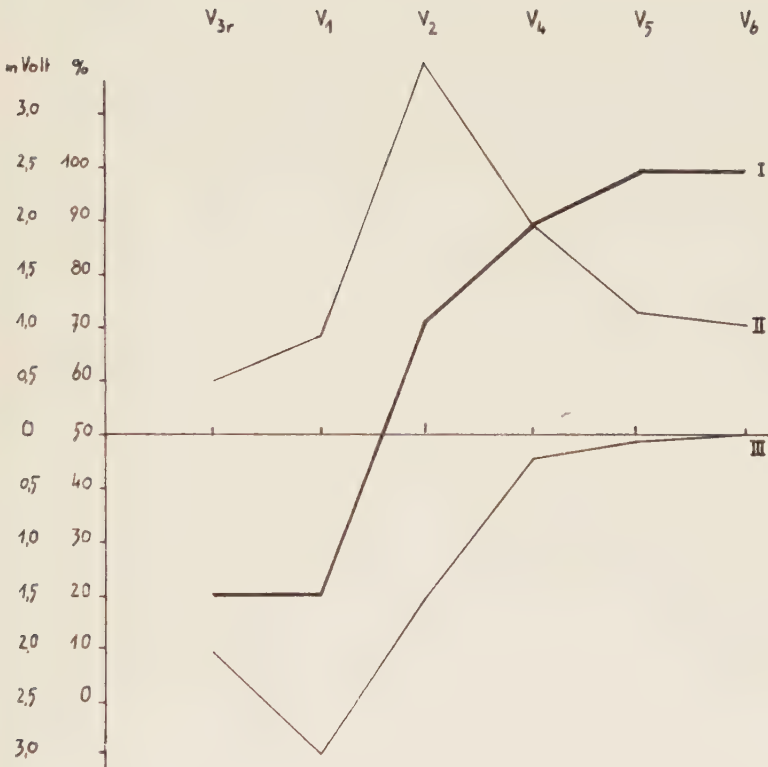


Abb. 15: Relationskurven eines Ventrikelseptumdefektes mit einem rechtsventrikulären Druck von 40 mm Hg. I ist die Relationskurve aus R/R + S, II verbindet die Gipfel-punkte der R-Zacken, III die der S-Zacken.

Die oben gezeichnete Relationskurve I ergibt denselben Befund, den man auch auf Grund der hämodynamischen Tatsachen erwarten kann; infolge der Volumenüberlastung im linken Herzen ist es schon zu einer Linkshypertrophie gekommen. Wenn der Druck im rechten Ventrikel größer wird, tritt auch eine Verschiebung der Relationskurven in Richtung auf eine Hypertrophie beider Kammern ein.

Fall II:

6 Jahre altes Mädchen; schon im Alter von 4 Monaten wurde ein Herzfehler festgestellt. Das Kind sei immer zart gewesen, man habe aber nie eine Blausucht bemerkt. Von der vena saphena aus wurde in typischer Weise zur Klärung des Falles eine Herzsondierung durchgeführt. Hier gelang es, die Hohlvene, den rechten Vorhof, den rechten Ventrikel und die art. pulmonalis mit der Sondenspitze zu erreichen. Die Blutgasanalysen ergaben einen Sauerstoffsprung vom rechten Vorhof zum rechten Ventrikel hin. Der Druck betrug in der art pulmonalis 50/25 mm Hg, im rechten Ventrikel 50/0 und im linken 100 mm Hg. Weiterhin imponierte ein deutlicher Links-Rechts-Shunt. Das EKG ergab einen Linkstyp von $+25^{\circ}$, die Frequenz betrug 110/min, die QRS-Dauer 0,07 sec., außerdem bestanden Zeichen der Links- und Rechtsbelastung. (Die Höhe der R- und S-Zacken siehe Abb. 16). Zusammenfassung: Es handelt sich um einen Ventrikel-septumdefekt mit Drucksteigerung im kleinen Kreislauf. Der Shunt war rein von links nach rechts gerichtet.

	R in mV	S in mV	Q _s
V _{3r}	0,2	0,2	50 %
V ₁	1,0	1,0	50 %
V ₂	1,9	1,9	50 %
V ₄	3,5	0,7	83 %
V ₅	2,7	0,2	93 %
V ₆	1,1	0,1	92 %

Abb. 16: Werte der R- und S-Zacken in den rechts- und linkspräkordialen Ableitungen.

In diesem Fall war der Ventrikelquotient schon etwas größer als im vorigen; er betrug 0,50, der zugehörige Summenquotient 0,56.

Die Hypertrophieverhältnisse gehen aus den Relationskurven (Abb. 17) hervor.

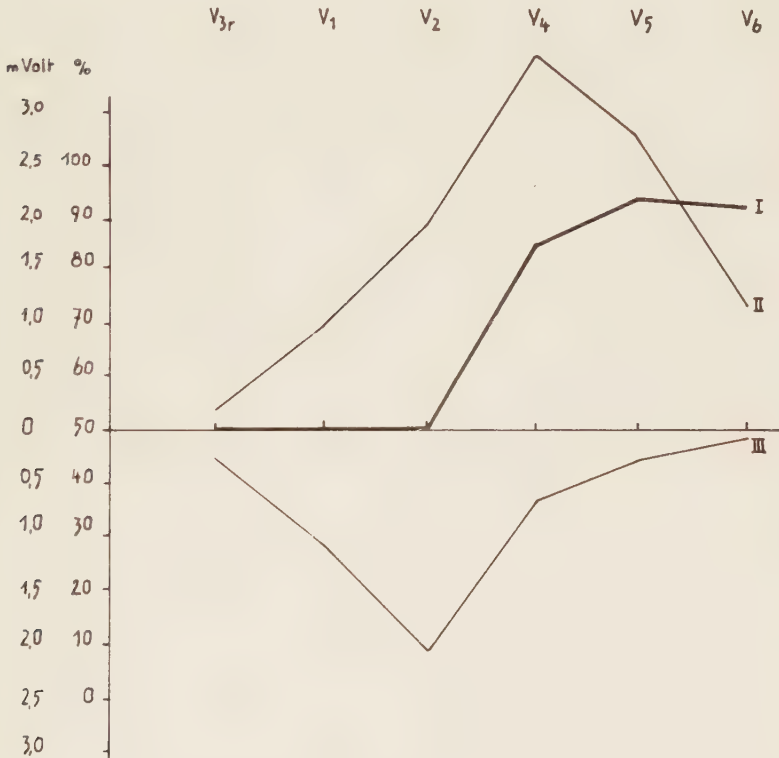


Abb. 17: Relationskurven eines Ventrikelseptumdefektes mit einem rechtsventrikulären Druck von 50 mm Hg. I = Relationskurve von R/R + S, II = Relationskurve der R-Zacken, III = Relationskurve der S-Zacken.

Die Relationskurve I zeigt schon eine leichte Tendenz zur Doppelhypertrophie; sie ist nach oben "gerutscht", über dem rechten Präkordium betragen die Summenquotienten 50 %!, außerdem kündigt sich eine typische Muldenform an.

Aus dem weiteren Steigen des systolischen rechtsventrikulären Druckes resultieren folgende elektrokardiographischen und hämodynamischen Verhältnisse:

II. Gruppe: Ventrikelseptumdefekt mit einem rechtsventrikulären Druck von 60 mm Hg und darüber.

Naturgemäß war diese Gruppe für die Auswertung der EKG's interessanter, da hier die höheren Drucke auch schon wesentlich stärkere Hypertrophien verursacht hatten. Nachfolgende Tabelle gibt Aufschluß darüber, wieviele Fälle verschiedenen elektrokardiographischen und hämodynamischen Eigenschaften zugeordnet werden konnten (Abb. 18).

		Anzahl der Fälle
Druckwerte	syst.Druck im re. Ventrikel 60-85	21
	syst.Druck im re. Ventrikel 85-100	13
	syst.Druck im re. Ventrikel 100	21
Shunt	kein Shunt	6
	li.-re. Shunt	35
	re.-li. Shunt	6
	gekreuzter Shunt	8
EKG	Steiltyp	17
	li.-Typ	12
	re.-Typ	21
	Mitteltyp	5

Abb. 18: Aus dieser Tabelle wird ersichtlich, daß eine Entwicklung der Hypertrophie in Richtung der EISENMENGER-Reaktion stattgefunden hat. So ist es in 6 Fällen zum gekreuzten Shunt gekommen und in 6 weiteren Fällen zum alleinigen Rechts-Links-Shunt.

In dieser Gruppe fanden sich 18 Fälle mit Zyanose, das bedeutet 32 %. Das Verhältnis der systolischen Drucke in der rechten Kammer zu den systolischen Drucken in der linken Kammer drückte sich im Ventrikelquotienten folgendermaßen aus: er lag nahe bei dem Wert 1 (Muskelstärke der re. Kammer = Muskelstärke der li. Kammer); in dieser Gruppe betrug der durchschnittliche Wert 0,90. Der dazugehörige durchschnittliche Summenquotient betrug 1,19, d.h. er war 1,32 mal größer als der Ventrikelquotient.

Auch aus diesem EKG konnte die Diagnose Doppelhypertrophie gestellt werden, in den meisten Fällen durch das Vorhandensein von Zeichen für die Linkshypertrophie. In einigen anderen Fällen konnte durch folgende Kriterien auf eine Doppelhypertrophie geschlossen werden: rS- oder RS-Formen in den Ableitungen V_1 und V_6 , Verlagerung der Übergangszone bei einem linkstypischen EKG nach links, bei einem rechtstypischen EKG nach rechts hin.

Daß man auf Grund des EKG's, nämlich mit Hilfe des Summenquotienten, berechtigt war, auf den Druck des rechten Ventrikels zu schließen und damit eine Aussage über die Hypertrophieverhältnisse zu machen, erlaubt die gute Korrelation.

Es errechnete sich für diese Gruppe ein KORRELATIONS-KOEFFIZIENT von 0,69. Dieser Wert kommt dem Korrelationskoeffizienten der ersten Gruppe sehr nahe (0,66). Graphisch kommt dieser Zusammenhang in der Regressionslinie zum Ausdruck (Abb. 19).

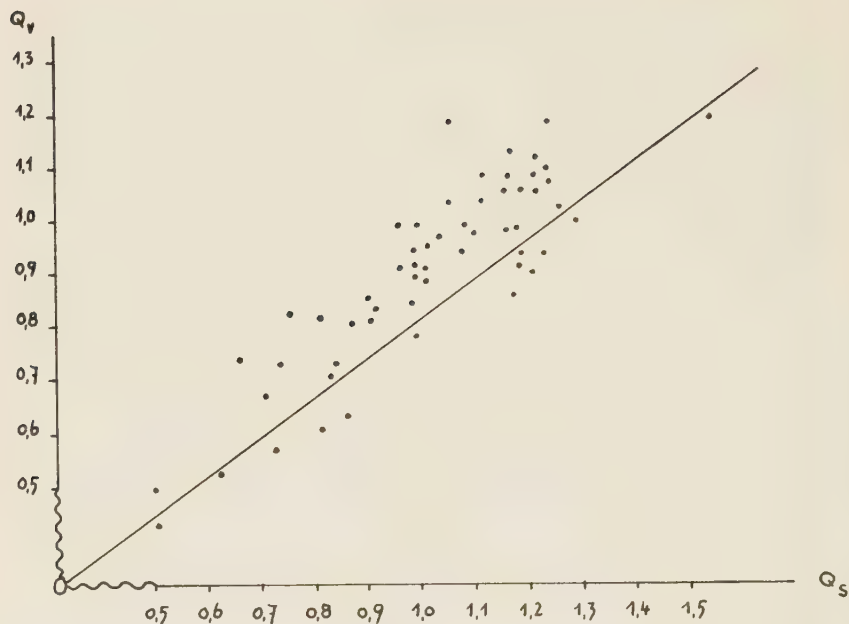


Abb. 19: Regressionslinie der rechtsventrikulären Drucke von 60-125 mm Hg.

Was diese Kurve zeichnerisch ausdrückt, mögen 2 typische Beispiele praktisch veranschaulichen:

Fall I:

15 Jahre altes Mädchen; war immer schon in der körperlichen Entwicklung 2 bis 3 Jahre zurück. Jetzt kam es wegen Blauwerden der Lippen und Atemnot in die Klinik. Bei der Herzsondierung ließ sich die Sondenspitze von der vena saphena aus durch einen Vorhofseptumdefekt in den linken Vorhof und von dort in mehrere Lungenvenen schieben. Weiterhin konnte der rechte Ventrikel sondiert werden; ein Vorschieben in die art.pulmonalis

gelang nicht. Die Druckmessung im rechten Ventrikel ergab 105/8 mm Hg. Durch die Angiokardiographie konnte ein kleiner Rechts-Links-Shunt neben einem Links-Rechts-Shunt ermittelt werden. Das EKG (Höhe der R- und S-Zacken in Abb. 20) ergab eine Achsenabweichung von $+93^{\circ}$, die QRS-Dauer betrug 0,10 sec. Es bestand ein AV-Block I. Grades und ein inkompletter Rechtsschenkelblock als Ausdruck der starken Rechtshypertrophie, über V_1 eine Diskordanz von R/T und über V_{3r} und V_1 eine Rechtsverspätung. Zusammenfassung: Es handelt sich um einen großen Ventrikelseptumdefekt mit bestehender EISENMENGER-Reaktion.

	R in mV	S in mV	Q _s
V_{3r}	1,9	0	100 %
V_1	2,4	0,5	82 %
V_2	2,6	3,2	45 %
V_4	2,7	1,5	64 %
V_5	2,0	2,0	50 %
V_6	1,5	0,5	75 %

Abb.20: Höhe der R- und S-Werte in den rechts- und linkspräkordialen Ableitungen.

Der Ventrikelquotient und der Summenquotient lagen wieder sehr dicht beieinander; ersterer betrug 1,10, letzterer 1,19. Aus dem Wert des Ventrikelquotienten geht hervor, daß der rechte Ventrikel sehr stark hypertrophiert sein muß, dieser Sachverhalt kam auch bei der graphischen Darstellung der Relationskurven zum Ausdruck (Abb. 21). Für diesen Fall mit dem rechtsventrikulären Druck von 105 mm Hg zeigt die Relationskurve I den typischen Verlauf einer Doppelhypertrophiekurve; sie beginnt über dem rechten Herzen oberhalb der Nulllinie und endet, nach einer muldenförmigen Einsenkung, über dem linken Herzen links oben. Auch der Grad der Hypertrophie ist deutlich abzulesen; so kommt die Kurve bei V_2 noch einmal unter die Nulllinie, dies ist als Zeichen zu werten, daß der rechte Ventrikel noch nicht maximal hypertrophiert ist. Klinisch entspricht dieser Tatsache, daß es erst zu einem relativ kleinen Rechts-Links-Shunt gekommen ist.

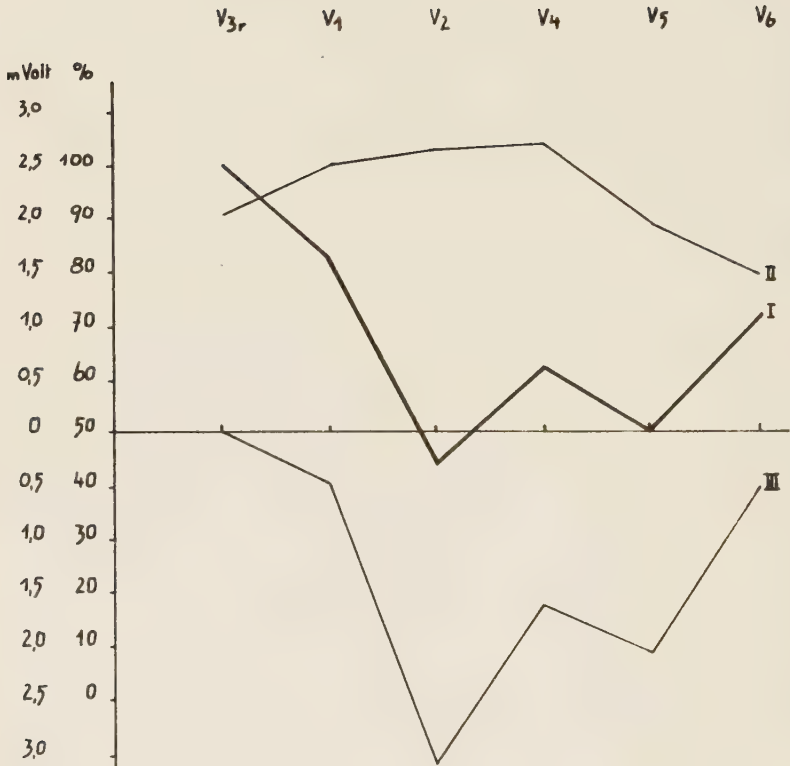


Abb. 21: Relationskurve eines Ventrikelseptumdefektes + EISENMENGER-Reaktion mit einem rechtsventrikulären Druck von 105/0 mm Hg.

Schließlich soll an Hand des letzten Falles gezeigt werden, daß auch bei sehr hohen rechtsventrikulären Drucken der enge Zusammenhang zwischen EKG und Hämodynamik gegeben ist.

Fall II:

15 jähriger Junge; auch er kam wegen zunehmender Atemnot und Zyanose zur Aufnahme in die Klinik.

Bei der Herzsondierung von der vena basilika aus ergab sich ein Druck im rechten Ventrikel von 120/0 mm Hg, von hier konnte die Sonde über einen Ventrikelseptumdefekt in die Aorta vorgeschoben werden, in ihr betrug der Druck 100/80 mm Hg. Die Blutgasanalysen ergaben einen Rechts-Links-Shunt, aber keinen Links-Rechts-Shunt. Dies konnte auch durch die Angiokardiographie bestätigt werden. Das EKG zeigte einen überdrehten Rechtstyp von $+125^{\circ}$, außerdem bestanden massive Zeichen der Rechts- und Linkshypertrophie.

Zusammenfassung: Es handelte sich um einen Ventrikelseptumdefekt mit bestehender EISENMENGER-Reaktion.

Der Ventrikelquotient betrug für diesen Fall 1,2, der dazugehörige Summenquotient 1,30 (R- und S-Zacken in Abb.22).

	R in mV	S in mV	Q _s
V _{3r}	3,4	0	100 %
V ₁	2,4	0,3	89 %
V ₂	2,4	1,1	68 %
V ₄	3,4	1,3	72 %
V ₅	3,7	2,9	56 %
V ₆	3,2	1,4	70 %

Abb. 22: Höhe der R- und S-Zacken und der Prozentwerte in den rechts- und links-präkordialen Ableitungen.

Die entsprechenden Relationskurven sehen folgendermaßen aus (Abb. 23); es handelt sich auch in diesem Fall um eine typische Doppelhypertrophiekurve mit muldenförmigen Verlauf, die insgesamt über der Nulllinie liegt. Dies be-

deutet, daß bei dem rechtsventrikulären Druck von 120 mm Hg eine maximale Hypertrophie des rechten Ventrikels eingetreten ist.

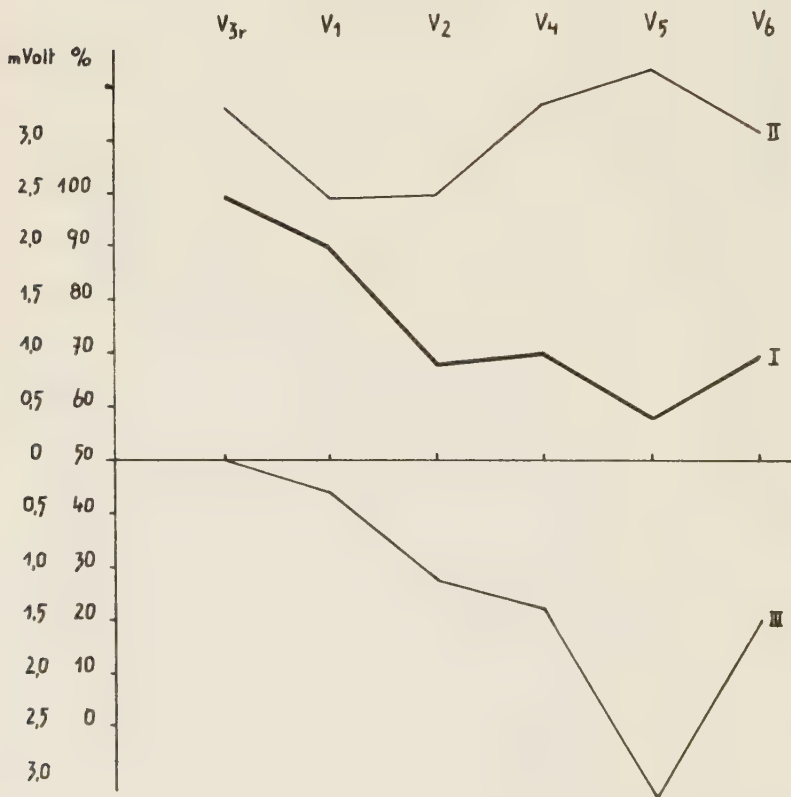


Abb. 23: Relationskurven eines Ventrikelseptumdefektes + EISENMENGER-Reaktion mit einem rechtsventrikulären Druck von 120 mm Hg.

E. R E S U M É E

Auch diese beiden letzten Beispiele haben gezeigt, wie eng die Ventrikel- und Summenquotienten beieinander liegen. Voraussetzung zur richtigen Bestimmung ist allerdings eine genaue Messung der Drucke und insbesondere des linksventrikulären Druckes, da durch Schreien der Kinder falsche Drucke vorgetäuscht werden können. Es empfiehlt sich deshalb, den Druck mehrmals zu messen. Weiterhin war es wichtig, das EKG genau auszuwerten, d.h. die Höhe der R- und S-Zacken zu bestimmen; wenn z.B. bei der S-Zacke 1 mm = 1/10 mVolt zu wenig oder zu viel gemessen wurde, variierte der Relationsquotient schon um $\pm 3 \%$.

Unter Berücksichtigung dieser Kriterien haben wir 80 Kinder untersucht mit dem Ziel, festzustellen was für eine Korrelation zwischen dem Ventrikelquotienten der Druck und dem Summenquotienten des EKG's bei der Hypertrophie beider Ventrikel besteht.

In der ersten Gruppe wurden 25 Kinder mit einem rechtsventrikulären systolischen Druck von 40-60 mm Hg erfaßt. Bei ihnen betrug der durchschnittliche Ventrikelquotient 0,53, der durchschnittliche Summenquotient 0,67. Das bedeutet, daß letzterer annähernd 1,3 mal so groß war, wie ersterer. In einer Formel ausgedrückt, bekommt man folgende Beziehung:

$$\text{Formel I : } Q_s = Q_v \text{ mal } 1,3$$

Der Wert 1,3 stellt in diesem Zusammenhang den Wert für den Umrechnungsfaktor dar. Diese Beziehung ist insofern wichtig, weil man aus ihr den rechtsventrikulären Druck bestimmen kann.

Da man Q_s aus dem EKG errechnen kann, und der Umrechnungsfaktor 1,3 beträgt, erhält man bei Einsetzen in die

Formel I den Ventrikelquotienten. Dieser drückt das Verhältnis des rechtsventrikulären Druckes zum linksventrikulären aus:

$$Q_v = \frac{RR_{re}}{RR_{li}}$$

Setzt man dies für Q_v in die Formel I ein, so erhält man für den rechtsventrikulären Druck:

$$RR_{re} = \frac{Q_s \text{ mal } RR_{li}}{\text{Umrechnungsf.}}$$

In den Fällen, in denen eine Herzkatheterung nicht durchführbar ist, könnte diese Methode ein Hilfsmittel darstellen, den Druck in der rechten Kammer und dadurch einen Einblick in die Hämodynamik des jeweiligen Falles zu erhalten.

Zur Anwendung dieser Formel ist man deshalb berechtigt, weil eine tatsächliche Korrelation zwischen dem Ventrikelquotienten und dem Summenquotienten, auch bei der Doppelhypertrophie, in dieser Arbeit nachgewiesen werden konnte.

Für die 25 Kinder der ersten Gruppe errechnete sich ein Korrelationskoeffizient von + 0,66. Dieser Wert stellt eine gute Korrelation dar.

In der zweiten Gruppe haben wir 55 Kinder mit einem rechtsventrikulären Druck von 60 mm Hg und darüber untersucht. In diesen Fällen betrug der durchschnittliche Ventrikelquotient 0,9, der Summenquotient 1,15. Das heißt, daß Q_s wieder annähernd 1,3 mal so groß wie Q_v ist. Die Korrelation zwischen Q_v und Q_s konnte in dieser Gruppe als + 0,69 berechnet werden. Das entspricht eben-

falls einer guten positiven Korrelation.

Interessant war auch die Betrachtung von 4 typischen Beispielen mit jeweils ansteigendem rechtsventrikulären Druck. Hier zeigte sich, daß das Ansteigen des Druckes in der rechten Kammer mit Veränderungen der Relationskurven in folgender Weise verbunden war: Bei einem Druck im rechten Ventrikel von 40 mm Hg, war der rechte Ventrikel nicht oder nur mäßig hypertrophiert, bei einem Druck von 50 mm Hg war eine Tendenz in Richtung auf eine beginnende Rechtshypertrophie zu erkennen und in den beiden letzten Fällen mit den hohen rechtsventrikulären Drucken erhielt man eindeutige Doppelhypertrophiekurven.

Was den Shunt betrifft, so stellte sich heraus, daß in der ersten Gruppe kein Rechts-Links-Shunt vorhanden war. Da der größte Summenquotient für diese Fälle 0,75 betrug, kann man die Schlußfolgerung ziehen, daß in Fällen, bei denen Q_s unter 0,75 liegt und die im EKG mit einem Links- oder Steiltyp verbunden sind, mit ziemlicher Sicherheit kein Rechts-Links-Shunt besteht.

Auf der anderen Seite muß man einen Rechts-Links-Shunt im Sinne einer EISENMENGER-Reaktion annehmen, wenn das EKG einen Rechtstyp, oder noch sicherer einen Überdreh-ten Rechtstyp, aufweist und der Q_s -Wert über 1,2 liegt.

F. ZUSAMMENFASSUNG

In dieser Arbeit haben wir uns mit der Hämodynamik des Ventrikelseptumdefekts und seiner Elektrokardiographie befaßt. Speziell sollte die Frage untersucht werden, ob sich anhand des EKG's genauere Aussagen über Form der Herzhypertrophie und Hämodynamik machen lassen. Wir haben dazu den Ventrikelseptumdefekt gewählt, weil uns besonders der Fall der Doppelhypertrophie interessierte.

Für die Hypertrophie der einzelnen Kammer konnte GUTHEIL schon feststellen, daß es tatsächlich möglich ist, rechnerische Korrelationen zwischen Hypertrophiegrad und Werten des EKG's aufzustellen. Wir sind nach derselben Methodik vorgegangen und haben 80 Kinder mit einem Ventrikelseptumdefekt untersucht. Nach dem rechtsventrikulären Druck haben wir 2 Gruppen von 40-60 mm Hg und 60-105 mm Hg unterschieden. Dabei konnte durch statistische Auswertung der systolischen Druckwerte des rechten und linken Herzens einerseits und den Werten des EKG's andererseits gezeigt werden, daß auch bei Doppelhypertrophie des Herzens eine gute positive Korrelation zwischen EKG und Hypertrophiegrad besteht. Das bedeutet praktisch, daß man bei einem Ventrikelseptumdefekt im Hinblick auf die Indikation zur Operation sagen kann, ob es im Lungengefäßsystem zu funktionellen Veränderungen gekommen ist oder noch nicht. Weiterhin stellte sich heraus, daß man in der Lage ist, bei bekanntem linksventrikulären Druck (art. brachialis) mit Hilfe einer Formel und den R- und S-Werten des EKG's eine annähernde Aussage über Höhe des rechtsventrikulären Druckes zu machen und somit einen Einblick in die Shuntverhältnisse zu gewinnen.

L e b e n s l a u f

Als Sohn des Hauptmannes der Luftwaffe Ernst B e y e r und seiner Ehefrau Waltraud, geb. Pofahl, wurde ich am 29.4.1942 in Soltnitz bei Neustettin geboren. Durch die Kriegseinwirkungen kam ich 1945 nach München und besuchte dort von 1948 bis 1952 die Herrn-Volksschule. Von 1952 bis 1957 besuchte ich die Luitpold-Oberrealschule und bestand nach einem weiteren Schulwechsel 1961 an der Gisela-Oberrealschule mein Abitur.

Nach meiner Immatrikulation an der Ludwig-Maximilians-Universität studierte ich 11 Semester Medizin.

Mein Staatsexamen habe ich am 10.8.1967, meine Promotionsprüfung am 10.10.1967 bestanden.

L i t e r a t u r v e r z e i c h n i s

1. BODECHTEL, G. und BLOEMER, H.: Die Herzfehler: Ihre Symptomatologie und Hämodynamik
Verlag Urban & Schwarzenberg, München 1963
2. BROM, A.: Angeborene Herzfehler mit Rechts-Links-Shunt.
Verh.Dtsch.Ges.Kreisl.Forschung 23 (1957), 275
3. BROWN, J.W., HEATH, D. and WHITAKER, W.: Eisenmenger Komplex
Brit. Heart J. 17 (1955), 273
4. BÜHLMAYER, K.: Die pulmonale Hypertension bei angeborenen Herzfehlern im Kindesalter
Habilitationsschrift, München 1967
5. CIVIN, W.H. and EDWARD, J.E.: Pathology of the pulmonary vascular tree I.A comparison of the intra-pulmonary arteries in the Eisenmenger complex and in stenosis of ostium infundibuli associated with biventricular origin of the aorta
Circulations 2 (1950), 545
6. DAMMAN, J.F., and FERENCZ, Ch.: The significance of the pulmonary vascular bed in congenital heart disease
Amer. Heart J. 52 (1956), 210
7. DAMMAN, J.F.: The regressions of pulmonary vascular disease after the creation of Pulmonary stenosis
J. Thoracic. Surg. 42 (1961), 722
8. DEXTER, L.: Studies of the pulmonary circulations in the Man
ad rest
J. Clin. Invest. 29 (1950), 602
9. EDWARDS, J.E.: The Lewis A. Conner Memorial Lecture:
Functional Pathology of pulmonary vascular tree in congenital heart disease
Circulations 15 (1957), 164

10. FLEISCH, A., HOLZMANN, M. und SCHAUB, F.:
Z. Kreislaufforschg. 47 (1958), 1019
11. GUTHEIL, H.: Die Bestimmung des Druckes in den Herzkammern mit Hilfe des Elektrokardiogramms bei angeborenen Herzfehlern des Kindes.
Arch. Kinderheilk. 50 (1960)
12. HECK, W. und STOERMER, J.: Pädiatrischer EKG-Atlas
Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1959
13. HOLZMANN, M.: Klinische Elektrokardiographie
Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1955
14. KEATH, S.D., ROWE, R.D., and VLAD, P.: Heart disease in infancy and childhood
The Macmillan company, New York 1958
15. LEMMERZ, A., SCHMIDT, R. und KRANEMANN, J.: Die Deutung des EKG
Verlag G. Braun, Karlsruhe 1964
16. MARSICO, F.: The elektrocardiogram in ventricular septal defect: Scalar and vectorial analysis of thirty two cases
Amer. Heart J. 49 (1955), 188
17. SCHMIDT, J.: Hämodynamik und Elektrokardiogramm
Verlag Urban & Schwarzenberg, München 1961
18. SZABO, R., VIRAGH, KATALIN, KOLLER: Eisenmenger-Komplex in der Gesellschaft von offenem Ductus Botalli und Aortenkoaktion im Pubertätsalter.
Z. Kreislaufforschg. 48 (1959), 865
19. WELCH, K.J., and KINNEY, T.D.: The effects of patent ductus arteriosus and of interauricular and interventricular septal defects on development of pulmonary vascular lesions.
Amer. J. Path. 24 (1948), 729
20. WITTENBORG, M.H. and NEUHAUSER, E.B.D.: Diagnostic roentgenology in congenital heart disease
Brit.Med. J. (1958), 755
21. WOOD, P.: Congenital heart disease
Brit.Med. J. (1950), 639

